

空間光変調器

発明の背景

1. 発明の技術分野

本発明は、入射光を空間的に変調する空間光変調器に関する。

2. 関連技術の説明

入射光を空間的に変調する空間光変調器は、光学的な情報処理やコンピュータ合成ホログラム等の分野において用いられている。

従来の空間光変調器としては、液晶を用いたものや、マイクロミラーデバイスを用いたものがある。

上述の光学的な情報処理やコンピュータ合成ホログラム等の分野では、大量の情報を高速で処理する必要があることから、空間光変調器としては動作速度が大きいことが望まれる。

しかしながら、液晶を用いた空間光変調器では、動作速度が小さいという問題点がある。例えば、液晶の中では動作速度の大きい強誘電性液晶を用いた空間光変調器であっても、応答時間はマイクロ秒のオーダーである。

マイクロミラーデバイスを用いた空間光変調器では、比較的、高速の動作が可能である。しかしながら、この空間光変調器は、高度な半導体製造プロセスによって製造される、構造が複雑なマイクロマシンであるため、製造コストが高いと共に、機械的な駆動部分を有するので信頼性の面で問題が残る。

ところで、例えば、米国特許第4, 584, 237号、第5, 241, 421号、第5, 255, 119号および第5, 386, 313号には、磁気光学効果を利用した空間光変調器が開示されている。以下、このような空間光変調器を、光磁気空間光変調器と呼ぶ。この光磁気空間光変調器は、それぞれ光磁気材料よりなり、独立に磁化の方向を選択可能な複数の画素を有している。光磁気空間光変調器では、ファラデー効果によって、各画素における磁化の方向に応じて、各画素を通過する光の偏光方向が互いに反対方向に所定角度ずつ回転される。従って、光磁気空間光変調器では、各画素における磁化の方向を任意に選択することにより、空間的に変調された光を生成することができる。

従来の光磁気空間光変調器では、各画素の位置で交差するように格子状に２種類の導体を設け、任意の画素における磁化を反転させる際には、その画素が配置された位置で交差する２本の導体に通電することによって、その画素における磁化を反転させるための磁界を発生させるようにしている。

上述のような従来の光磁気空間光変調器では、光磁気材料よりなる単層の磁性層のみを用いて、通過する光の偏光方向を回転させるようになっている。そのため、この光磁気空間光変調器では、ファラデー効果を大きくして磁気光学的な性能を高めるためには、磁性層の厚みを大きくしなければならない。

しかし、導体に電流を流すことによって得られる磁界は、導体からの距離の２乗に逆比例して減少する。そのため、磁性層の厚みを大きくすると、各画素における磁化を反転させるために導体に流す電流の値を大きくしなければならず、その結果、消費電力が大きくなってしまう。また、磁性層の厚みを大きくすると、画素における磁化の反転速度、すなわち光磁気空間光変調器の動作速度が低下する。

また、従来の光磁気空間光変調器では、複数の画素は、例えば、磁性層に形成された格子状の溝によって互いに分離されている。このような光磁気空間光変調器では、磁性層の厚みを大きくすると、磁性層に形成する溝の深さも大きくする必要が生じ、溝を形成するのが難しくなる。また、溝の深さが大きくなると、磁性層の上にそのまま導体を形成することができなくなる。そのため、溝を絶縁材料によって埋め、磁性層の上面を平坦化してから、磁性層の上に導体を形成しなければならない。また、溝の深さが大きくなると、溝を絶縁材料によって埋め、磁性層の上面を平坦化することが、技術的に難しくなる。

発明の目的および概要

本発明の目的は、磁気光学的な性能が優れ、動作速度が大きく、且つ消費電力が小さな空間光変調器を提供することにある。

本発明の空間光変調器は、

光磁気材料よりなり、それぞれ独立に磁化の方向が設定され、磁気光学効果により、入射光に対して磁化の方向に応じた偏光方向の回転を与える機能を有する

複数の画素を含む磁性層と、

各画素に対応した位置で交差するように配置され、各画素における磁化の方向を設定するための磁界を発生させるための電流が流される複数の第1の導体層および複数の第2の導体層と、

画素の機能を増強する複数の誘電体層とを備えたものである。

本発明の空間光変調器では、第1の導体層および第2の導体層にそれぞれ電流を流すことによって、これらの導体層が交差する位置の近傍において磁界が発生される。この磁界によって、第1の導体層および第2の導体層が交差する位置に対応した画素における磁化の方向が設定される。そして、入射光に対して各画素の磁化の方向に応じた偏光方向の回転が与えられて、入射光が空間的に変調される。本発明の空間光変調器では、画素の機能を増強する複数の誘電体層を備えているので、磁性層を薄くしながら、入射光に対して磁化の方向に応じた偏光方向の回転を与えるという画素の機能を増強することができる。

本発明の空間光変調器において、磁性層、第1の導体層、第2の導体層および誘電体層は1次元磁性フォトニック結晶を構成してもよい。

また、本発明の空間光変調器において、第1の導体層および第2の導体層は磁性層を挟むように配置されていてもよい。

また、本発明の空間光変調器において、第1の導体層および第2の導体層はそれぞれ他の部分よりも幅の小さい狭部分を有し、第1の導体層の狭部分と第2の導体層の狭部分は互いに重なるように配置されていてもよい。この場合、第1の導体層の狭部分および第2の導体層の狭部分は、それぞれ、画素中の特定の領域の回りに湾曲した電流路を形成してもよい。また、第1の導体層の狭部分と第2の導体層の狭部分は、画素の周縁の近傍で、互いに重なるように配置されていてもよい。

また、本発明の空間光変調器において、第1の導体層および第2の導体層は入射光を透過させてもよい。

また、本発明の空間光変調器は、更に、光が入射および出射する入出射面と、磁性層を挟んで入出射面の反対側に配置され、光を反射する反射層とを備えてい

てもよい。

また、本発明の空間光変調器は、更に、入出射面に隣接するように設けられ、磁気光学効果により、通過する光の偏光方向を予め決められた角度だけ回転する旋光層を備えていてもよい。

また、本発明の空間光変調器は、更に、隣接する画素の境界位置に設けられ、境界位置を越える磁壁の移動を抑止する磁壁移動抑止部を含んでいてもよい。

また、本発明の空間光変調器において、磁性層は磁性ガーネット薄膜によって形成されていてもよい。

本発明のその他の目的、特徴および利益は、以下の説明を以って十分明白になるであろう。

図面の簡単な説明

図1は、本発明の第1の実施の形態に係る空間光変調器の要部を示す断面図である。

図2は、本発明の第1の実施の形態に係る空間光変調器における下部導体層の一部を示す平面図である。

図3は、本発明の第1の実施の形態に係る空間光変調器における上部導体層の一部を示す平面図である。

図4は、本発明の第1の実施の形態に係る空間光変調器における磁性層の一部を示す平面図である。

図5は、図2ないし図4に示した下部導体層、上部導体層および磁性層の位置関係を示す平面図である。

図6は、図5におけるA部を拡大して示す平面図である。

図7は、本発明の第1の実施の形態における導体層との比較のための解析用の導体層の形状を示す説明図である。

図8は、図7に示した導体層についての3次元電磁界解析の結果を示す特性図である。

図9は、本発明の第1の実施の形態における導体層に相当する解析用の導体層の形状を示す説明図である。

図10は、図9に示した導体層についての3次元電磁界解析の結果を示す特性図である。

図11は、本発明の第1の実施の形態に係る空間光変調器とその周辺回路とを示すブロック図である。

図12は、図11における駆動部に含まれる駆動回路の構成の一例を示す回路図である。

図13は、本発明の第1の実施の形態に係る空間光変調器の使用方法和作用の一例を説明するための説明図である。

図14は、本発明の第2の実施の形態に係る空間光変調器の概略の構成を示す説明図である。

図15は、本発明の第2の実施の形態に係る空間光変調器の使用方法和作用の一例を説明するための説明図である。

図16は、本発明の第2の実施の形態において旋光層が複数種類の領域を有する場合の空間光変調器の構成の一例を示す説明図である。

好適な実施の形態の詳細な説明

以下、本発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。

[第1の実施の形態]

始めに、本発明の第1の実施の形態に係る空間光変調器について説明する。図1は本実施の形態に係る空間光変調器の要部を示す断面図である。

図1に示したように、本実施の形態に係る空間光変調器1は、光磁気材料よりなる磁性層11と、この磁性層11の下面に隣接する複数の下部導体層12と、磁性層11の上面に隣接する複数の上部導体層13とを備えている。このように、下部導体層12と上部導体層13は、磁性層11を挟むように配置されている。下部導体層12は本発明における第1の導体層に対応し、上部導体層13は本発明における第2の導体層に対応する。

磁性層11は、それぞれ独立に磁化の方向が設定され、磁気光学効果（ファラデー効果）により、入射光に対して磁化の方向に応じた偏光方向の回転を与える機能を有する複数の画素11aを含んでいる。後述するように、各画素11aの

平面形状は矩形になっている。また、複数の画素 1 1 a は格子縞模様をなすように配置されている。

磁性層 1 1 は、例えば磁性ガーネット薄膜によって形成されている。磁性層 1 1 の材料としては、希土類鉄ガーネットやビスマス置換希土類鉄ガーネット等が用いられる。

複数の下部導体層 1 2 は、同一の方向（以下、X方向と言う。）に延び、一定の周期で配列されている。複数の上部導体層 1 3 は、X方向と直交する方向（以下、Y方向と言う。）に延び、一定の周期で配列されている。複数の下部導体層 1 2 と複数の上部導体層 1 3 は、各画素 1 1 a に対応した位置で交差するように配置され、各画素 1 1 a における磁化の方向を設定するための磁界を発生させるための電流が流されるようになっている。

下部導体層 1 2 および上部導体層 1 3 は、入射光を透過させるようになっている。下部導体層 1 2 および上部導体層 1 3 は、例えば、ITO (Indium Tin Oxide) によって形成される。

空間光変調器 1 は、更に、下部導体層 1 2 の下面に隣接するように配置された下部誘電体層部 2 1 と、上部導体層 1 3 の上面に隣接するように配置された上部誘電体層部 2 2 とを備えている。下部誘電体層部 2 1 は、互い違いに積層された第 1 の種類の誘電体層 1 4 a₀, 1 4 b₀, 1 4 c₀, 1 4 d₀ および第 2 の種類の誘電体層 1 5 a₀, 1 5 b₀, 1 5 c₀, 1 5 d₀ を含んでいる。このうち、誘電体層 1 5 d₀ が下部導体層 1 2 の下面に隣接し、誘電体層 1 4 a₀ が下部導体層 1 2 から最も離れた位置に配置されている。上部誘電体層部 2 2 は、互い違いに積層された第 1 の種類の誘電体層 1 4 a₁, 1 4 b₁, 1 4 c₁, 1 4 d₁ および第 2 の種類の誘電体層 1 5 a₁, 1 5 b₁, 1 5 c₁, 1 5 d₁ を含んでいる。このうち、誘電体層 1 5 a₁ が上部導体層 1 3 の上面に隣接し、誘電体層 1 4 d₁ が上部導体層 1 3 から最も離れた位置に配置されている。

空間光変調器 1 は、更に、誘電体層部 2 1 の下面すなわち誘電体層 1 4 a₀ の下面に隣接するように配置され、光を反射する反射層 1 6 を備えている。空間光変調器 1 では、誘電体層部 2 2 の上面すなわち誘電体層 1 4 d₁ の上面が、光が入射および出射する入出射面となる。

誘電体層部 2 1, 2 2 を構成する複数の誘電体層は、磁性層 1 1 の画素 1 1 a の機能、すなわち、入射光に対して磁化の方向に応じた偏光方向の回転を与える機能を増強するようになっている。具体的には、複数の誘電体層は、磁性層 1 1 と協働して、複数の誘電体層および磁性層 1 1 を通過する光に対して、磁性層 1 1 のみを 1 回通過する光に与えられる偏光方向の回転角度よりも大きな回転角度で、偏光方向の回転を与える。

第 1 の種類の誘電体層 1 4 a₀, 1 4 b₀, 1 4 c₀, 1 4 d₀, 1 4 a₁, 1 4 b₁, 1 4 c₁, 1 4 d₁ と、第 2 の種類の誘電体層 1 5 a₀, 1 5 b₀, 1 5 c₀, 1 5 d₀, 1 5 a₁, 1 5 b₁, 1 5 c₁, 1 5 d₁ は、互いに屈折率が異なっている。第 1 の種類の誘電体層 1 4 a₀ ~ 1 4 d₁ は例えば SiO₂ によって形成される。また、第 2 の種類の誘電体層 1 5 a₀ ~ 1 5 d₁ は例えば Ta₂O₅ によって形成される。

誘電体層部 2 1, 2 2 を構成する複数の誘電体層、下部導体層 1 2、上部導体層 1 3 および磁性層 1 1 は、1 次元磁性フォトニック結晶を構成してもよい。1 次元磁性フォトニック結晶は、本質的にファブリ・ペロ共振器として動作する磁気光学体である。1 次元磁性フォトニック結晶では、それを構成する各層の材料や厚みを変えることによって、磁気光学効果が増大する光波長を設計することが可能である。また、1 次元磁性フォトニック結晶では、理論的には、磁性ガーネット薄膜の光吸収を無視できる波長範囲で、100%に近い透過率と、単層の磁性ガーネット薄膜のファラデー回転角の100倍程度のファラデー回転角とを得ることができる。

空間光変調器 1 は、更に、隣接する画素 1 1 a の境界位置に設けられ、この境界位置を越える磁壁の移動を抑止する磁壁移動抑止部 2 3 を備えている。磁壁移動抑止部 2 3 は、例えば、磁性層 1 1 において隣接する画素 1 1 a の境界位置に設けられた溝およびこの溝内に配置された絶縁層によって形成されていてもよい。

次に、図 2 ないし図 6 を参照して、下部導体層 1 2、上部導体層 1 3 および磁性層 1 1 の形状と配置について詳しく説明する。図 2 は下部導体層 1 2 の一部を示す平面図である。図 3 は上部導体層 1 3 の一部を示す平面図である。図 4 は磁

性層 1 1 の一部を示す平面図である。図 5 は下部導体層 1 2、上部導体層 1 3 および磁性層 1 1 の位置関係を示す平面図である。図 6 は図 5 における A 部を拡大して示す平面図である。

図 2 に示したように、複数の下部導体層 1 2 は、それぞれ X 方向（図 2 における左右方向）に延びている。複数の下部導体層 1 2 の配列の周期は、Y 方向（図 2 における上下方向）についての画素 1 1 a の配列の周期と一致している。また、隣接する 2 つの下部導体層 1 2 の間に設けられた隙間の位置は、Y 方向に沿って並ぶ複数の画素 1 1 a の境界の位置に対応している。1 つの下部導体層 1 2 は、互いに平行な上辺 1 2 a および下辺 1 2 b を有している。下部導体層 1 2 には、X 方向について並ぶ複数の画素 1 1 a の境界の位置に対応する位置において、上辺 1 2 a から下辺 1 2 b の近くまで、溝 1 2 c が形成されている。溝 1 2 c の下端側の部分は、端部に向かって、右下方向に屈曲した後、更に下方向に屈曲した形状をなしている。また、下部導体層 1 2 の下辺 1 2 b には、溝 1 2 c の下端部の左右の外側の位置において、上側に向く小さな溝 1 2 d、1 2 e が形成されている。下部導体層 1 2 において、隣接する 2 つの溝 1 2 c の間の部分は 1 つの画素 1 1 a に対応する。下部導体層 1 2 には、溝 1 2 c によって、他の部分よりも幅の小さい狭部分 1 2 f が形成されている。

図 3 に示したように、複数の上部導体層 1 3 は、それぞれ Y 方向（図 3 における上下方向）に延びている。複数の上部導体層 1 3 の配列の周期は、X 方向（図 3 における左右方向）についての画素 1 1 a の配列の周期と一致している。また、隣接する 2 つの上部導体層 1 3 の間に設けられた隙間の位置は、X 方向に沿って並ぶ複数の画素 1 1 a の境界の位置に対応している。1 つの上部導体層 1 3 は、互いに平行な右辺 1 3 a および左辺 1 3 b を有している。上部導体層 1 3 には、Y 方向について並ぶ複数の画素 1 1 a の境界の位置に対応する位置において、右辺 1 3 a から左辺 1 3 b の近くまで、溝 1 3 c が形成されている。溝 1 3 c の左端側の部分は、端部に向かって、左上方向に屈曲した後、更に左方向に屈曲した形状をなしている。また、上部導体層 1 3 の左辺 1 3 b には、溝 1 3 c の左端部の上下の外側の位置において、右側に向く小さな溝 1 3 d、1 3 e が形成されている。上部導体層 1 3 において、隣接する 2 つの溝 1 3 c の間の部分は 1 つの

画素 1 1 a に対応する。上部導体層 1 3 には、溝 1 3 c によって、他の部分よりも幅の小さい狭部分 1 3 f が形成されている。

図 4 に示したように、磁性層 1 1 は、X 方向（図 4 における左右方向）および Y 方向（図 4 における上下方向）に配列された複数の画素 1 1 a を含んでいる。各画素の平面形状は矩形になっている。

図 6 に示したように、下部導体層 1 2 の溝 1 2 c の下端部と上部導体層 1 3 の溝 1 3 c の左端部は、画素 1 1 a 中の特定の小さな領域 C に重なるように配置されている。領域 C は、画素 1 1 a の周縁の近傍、特に画素 1 1 a の 1 つの角の近傍に配置されている。また、下部導体層 1 2 の狭部分 1 2 f と上部導体層 1 3 の狭部分 1 3 f は、領域 C の近傍で互いに重なるように配置されている。

下部導体層 1 2 の狭部分 1 2 f は、領域 C の回りに湾曲した電流路 1 2 g を形成する。溝 1 2 d, 1 2 e は、電流路 1 2 g の湾曲を顕著にする作用を有する。同様に、上部導体層 1 3 の狭部分 1 3 f は、領域 C の回りに湾曲した電流路 1 3 g を形成する。溝 1 3 d, 1 3 e は、電流路 1 3 g の湾曲を顕著にする作用を有する。

次に、本実施の形態に係る空間光変調器 1 の作用について説明する。本実施の形態に係る空間光変調器 1 では、変調情報に従って、任意の下部導体層 1 2 および上部導体層 1 3 に正または負のパルス電流を流すことによって、これらの導体層 1 2, 1 3 が交差する位置の近傍において磁界が発生される。パルス電流が正の場合と負の場合では、発生される磁界の方向は反対になる。この磁界は、導体層 1 2, 1 3 が交差する位置に対応した画素 1 1 a に印加される。画素 1 1 a では、それまでの磁化の方向と反対方向の磁界が印加されると、印加磁界と同じ方向の磁化の磁区の核が生じ、その後、この磁区が拡大する。この磁区の拡大は、磁壁が磁壁移動抑止部 2 3 に達すると停止する。その結果、1 つの画素 1 1 a の全体が印加磁界と同じ方向の磁化となる。このようにして、任意の導体層 1 2, 1 3 に正または負のパルス電流を流すことによって、各画素 1 1 a における磁化の方向が独立に設定される。

図 1 において、符号 $1\ 1\ a_0$ は磁化が下向きの画素（以下、オフの画素とも言う。）を示し、符号 $1\ 1\ a_1$ は磁化が上向きの画素（以下、オンの画素とも言う

。)を示している。

空間光変調器 1 の入出射面、すなわち上部誘電体層部 2 2 の上面から空間光変調器 1 に入射した入射光は、上部誘電体層部 2 2、上部導体層 1 3、各画素 1 1 a、下部導体層 1 2 および下部誘電体層部 2 1 を通過して、反射層 1 6 に到達する。その際、入射光には、ファラデー効果により、各画素 1 1 a の磁化の方向に応じた偏光方向の回転が与えられる。例えば、磁化が上向きのオンの画素 1 1 a₁ を通過する光の偏光方向が $+\theta_F$ だけ回転されたとすると、磁化が下向きのオフの画素 1 1 a₀ を通過する光の偏光方向は $-\theta_F$ だけ回転される。

反射層 1 6 に到達した光は、反射層 1 6 で反射され、再度、下部誘電体層部 2 1、下部導体層 1 2、各画素 1 1 a、上部誘電体層部 2 2 および上部導体層 1 3 を通過して、空間光変調器 1 の入出射面より出射され、出射光となる。反射層 1 6 で反射され入出射面から出射される光には、入出射面から入射して反射層 1 6 に到達した光と同様に、ファラデー効果により、各画素 1 1 a の磁化の方向に応じた偏光方向の回転が与えられる。従って、上述のように、光が入出射面から入射して反射層 1 6 に到達する際に、オンの画素 1 1 a₁ を通過する光の偏光方向が $+\theta_F$ だけ回転され、オフの画素 1 1 a₀ を通過する光の偏光方向が $-\theta_F$ だけ回転されたとすると、光が入出射面から入射して入出射面から出射されるまでの間に、オンの画素 1 1 a₁ を通過する光の偏光方向は $+2\theta_F$ だけ回転され、オフの画素 1 1 a₀ を通過する光の偏光方向は $-2\theta_F$ だけ回転される。このようにして、偏光方向が空間的に変調された出射光が生成される。

次に、本実施の形態における下部導体層 1 2 および上部導体層 1 3 の形状の特徴について説明する。本実施の形態では、下部導体層 1 2 の狭部分 1 2 f と上部導体層 1 3 の狭部分 1 3 f は、領域 C の近傍で互いに重なるように配置されている。狭部分 1 2 f、1 3 f では下部導体層 1 2 および上部導体層 1 3 の他の部分に比べて電流密度が大きくなるため、狭部分 1 2 f、1 3 f が重なる位置の近傍において、局所的に大きな磁界を発生させることができる。

また、本実施の形態では、狭部分 1 2 f、1 3 f は、それぞれ、画素 1 1 a 中の特定の領域 C の回りに湾曲した電流路 1 2 g、1 3 g を形成する。この電流路 1 2 g、1 3 g を流れる電流は、領域 C を通過する磁界を発生させる。従って、

本実施の形態によれば、画素 1 1 a 中の特定の領域 C に、大きな磁界を印加することが可能になる。

ここで、有限要素法に基づく 3 次元電磁界解析の結果を参照して、本実施の形態における下部導体層 1 2 および上部導体層 1 3 の形状の効果について説明する。まず、本実施の形態との比較のために、図 7 に示した導体層 1 1 1 についての 3 次元電磁界解析の結果について説明する。図 7 に示した導体層 1 1 1 は、他の部分よりも幅の小さい狭部分 1 1 1 a を有している。しかし、この狭部分 1 1 1 a によって形成される電流路 1 1 1 b は直線的である。導体層 1 1 1 の厚みは $0.2 \mu\text{m}$ とした。狭部分 1 1 1 a の幅は $1.6 \mu\text{m}$ とした。

図 7 に示した導体層 1 1 1 について 3 次元電磁界解析を行った。この解析では、導体層 1 1 1 の厚み方向 (Z 方向) の 3 つの位置 (a), (b), (c) について、狭部分 1 1 1 a の幅方向の一端面からの距離 X (μm) と導体層 1 1 1 の厚み方向 (Z 方向) の磁界強度 H_z ($\text{Oe} = \times 79 \text{ A/m}$) との関係性を求めた。この解析において、導体層 1 1 1 に流れる電流は 100 mA とした。Z 方向の位置は、導体層 1 1 1 の下面の位置を原点として、原点より上側で正の値、下側で負の値となる座標 z で表した。位置 (a) は、 $z = 0.1 \mu\text{m}$ の位置、すなわち導体層 1 1 1 の厚み方向の中心の位置である。位置 (b) は、 $z = 0.0 \mu\text{m}$ の位置、すなわち導体層 1 1 1 の下面の位置である。位置 (c) は、 $z = -0.2 \mu\text{m}$ の位置、すなわち導体層 1 1 1 の下面から下方に $0.2 \mu\text{m}$ 離れた位置である。

上記の解析の結果を図 8 に示す。図 8 から、図 7 に示した導体層 1 1 1 を用いた場合には、磁界強度 H_z の絶対値は、狭部分 1 1 1 a の幅方向の一端面から離れるに従って急激に減少することが分かる。上記解析結果では、 $z = 0.1 \mu\text{m}$ 、 $X = 0.0 \mu\text{m}$ の位置において、絶対値が最大値 375 Oe となる磁界が発生している。この磁界を磁性層における磁化の反転に有効に利用するには、導体層 1 1 1 を磁性層に埋め込む必要がある。

次に、図 9 に示した導体層 1 2 1 についての 3 次元電磁界解析の結果について説明する。図 9 に示した導体層 1 2 1 は、本実施の形態における下部導体層 1 2 および上部導体層 1 3 に相当するものである。導体層 1 2 1 は、導体層 1 3 にお

ける溝 1 3 c, 1 3 d, 1 3 e と同様の溝 1 2 1 c, 1 2 1 d, 1 2 1 e を有している。また、導体層 1 2 1 は、導体層 1 3 における狭部分 1 3 f と同様の狭部分 1 2 1 f を有している。この狭部分 1 2 1 f によって形成される電流路 1 2 1 g は湾曲している。導体層 1 2 1 の厚みは $0.2 \mu\text{m}$ とした。狭部分 1 2 1 f の幅の最小値は $1.6 \mu\text{m}$ とした。

図 9 に示した導体層 1 2 1 について 3 次元電磁界解析を行った。この解析では、導体層 1 2 1 の厚み方向 (Z 方向) の 3 つの位置 (a), (b), (c) について、狭部分 1 2 1 f の幅方向の一端面からの距離 X (μm) と導体層 1 2 1 の厚み方向 (Z 方向) の磁界強度 H_z ($\text{Oe} = \times 7.9 \text{ A/m}$) との関係性を求めた。この解析において、導体層 1 2 1 に流れる電流は 100 mA とした。Z 方向の位置は、導体層 1 2 1 の下面の位置を原点として、原点より上側で正の値、下側で負の値となる座標 z で表した。位置 (a) は、 $z = 0.1 \mu\text{m}$ の位置、すなわち導体層 1 2 1 の厚み方向の中心の位置である。位置 (b) は、 $z = 0.0 \mu\text{m}$ の位置、すなわち導体層 1 2 1 の下面の位置である。位置 (c) は、 $z = -0.2 \mu\text{m}$ の位置、すなわち導体層 1 2 1 の下面から下方に $0.2 \mu\text{m}$ 離れた位置である。

上記の解析の結果を図 10 に示す。図 10 と図 8 とについて、 $X = 0.0 \mu\text{m}$ の位置で磁界強度 H_z の絶対値を比較すると、以下のことが分かる。すなわち、 $z = 0.1 \mu\text{m}$ の位置では、図 9 に示した導体層 1 2 1 を用いた場合には、図 7 に示した導体層 1 1 1 を用いた場合に比べて、絶対値が約 2 倍の 860 Oe となる磁界が発生している。また、図 9 に示した導体層 1 2 1 を用いた場合には、 $z = 0.0 \mu\text{m}$ および $X = 0.0 \mu\text{m}$ の位置や、 $z = -0.2 \mu\text{m}$ および $X = 0.0 \mu\text{m}$ の位置でも、絶対値が $300 \sim 400 \text{ Oe}$ となる大きな磁界が発生している。このことは、図 9 に示した導体層 1 2 1 を用いた場合には、導体層 1 2 1 を磁性層に埋め込まなくても、磁性層に大きな磁界を印加することができることを示している。

次に、図 11 を参照して、本実施の形態に係る空間光変調器 1 の駆動手段について説明する。図 11 は、空間光変調器 1 とその周辺回路とを示すブロック図である。図 11 に示したように、空間光変調器 1 の下部導体層 1 2 は駆動部 3 1 に

接続され、上部導体層 1 3 は駆動部 3 2 に接続される。駆動部 3 1, 3 2 は制御部 3 3 によって制御されるようになっている。駆動部 3 1, 3 2 は、制御部 3 3 の制御の下で、それぞれ下部導体層 1 2、上部導体層 1 3 に正または負のパルス電流を流すようになっている。駆動部 3 1 は、複数の下部導体層 1 2 にそれぞれ正または負のパルス電流を流すための複数の駆動回路を含んでいる。同様に、駆動部 3 2 は、複数の上部導体層 1 3 にそれぞれ正または負のパルス電流を流すための複数の駆動回路を含んでいる。

図 1 2 は、駆動部 3 1, 3 2 に含まれる駆動回路の構成の一例を示す回路図である。この駆動回路は、制御信号入力端 4 1 と、それぞれ入力端が制御信号入力端 4 1 に接続された 2 つのパルス幅設定回路 4 2, 4 3 と、パルス幅設定回路 4 2, 4 3 の各出力を入力して、駆動パルスを発生するパルス発生回路 4 4 と、一端がパルス発生回路 4 4 の出力端に接続された抵抗器 4 5 と、ベースが抵抗器 4 5 の他端に接続されたトランジスタ 4 6 とを備えている。トランジスタ 4 6 のエミッタは接地されている。トランジスタ 4 6 のコレクタは、1 つの導体層 4 7 (下部導体層 1 2 または上部導体層 1 3) の一端に接続されている。導体層 4 7 の他端には所定の電源電圧が印加されるようになっている。制御信号入力端 4 1 には、制御部 3 3 からの制御信号が入力されるようになっている。

パルス発生回路 4 4 は、パルス幅設定回路 4 2, 4 3 の各出力を入力するアンドゲート 4 8 と、このアンドゲート 4 8 の出力を入力して駆動パルスを出力するオペアンプ 4 9 とを有している。駆動パルスは、抵抗器 4 5 を介して、トランジスタ 4 6 のベースに印加される。

パルス幅設定回路 4 2 は、パルス発生回路 4 4 の出力のローレベルの時間 t_1 を設定する。パルス幅設定回路 4 3 は、パルス発生回路 4 4 の出力のハイレベルの時間 t_2 を設定する。

図 1 2 に示した駆動回路では、制御信号入力端 4 1 に制御部 3 3 からの制御信号が入力されると、パルス幅設定回路 4 2, 4 3 は、それぞれ、時間 t_1 , t_2 を規定するパルスを出力する。パルス発生回路 4 4 は、パルス幅設定回路 4 2, 4 3 の出力パルスに基づいて、駆動パルスを発生する。トランジスタ 4 6 は、この駆動パルスに応じて動作し、トランジスタ 4 6 の動作に応じて、導体層 4 7 に

パルス電流が流れる。

次に、図13を参照して、本実施の形態に係る空間光変調器1の使用方法和作用の一例について説明する。この例では、空間光変調器1に入射し、オンの画素11a₁を通過して、空間光変調器1から出射された光の偏光方向の回転角度+2θ_Fを90°としている。また、この例では、空間光変調器1に入射し、オフの画素11a₀を通過して、空間光変調器1から出射された光の偏光方向の回転角度-2θ_Fを-90°としている。

図13に示した例では、空間光変調器1における光の入射側に、偏光ビームスプリッタ51を配置している。この偏光ビームスプリッタ51は、空間光変調器1の入出射面に対して45°をなす偏光ビームスプリッタ面51aを有している。この偏光ビームスプリッタ面51aは、P偏光の光を通過させ、S偏光の光を反射する。P偏光とは偏光方向が入射面（図13における紙面）に平行な直線偏光であり、S偏光とは偏光方向が入射面に垂直な直線偏光である。

図13に示した例では、偏光ビームスプリッタ51に対して、空間光変調器1の入出射面に対して垂直な方向よりP偏光の光を入射させる。この光は、偏光ビームスプリッタ面51aを通過して、空間光変調器1に入射し、磁性層11を通過し、反射層16で反射され、再度、磁性層11を通過して、偏光ビームスプリッタ51に戻ってくる。この例では、オンの画素11a₁を通過した光は、偏光方向が90°回転されてS偏光の光となり、オフの画素11a₀を通過した光は、偏光方向が-90°回転されてS偏光の光となる。従って、空間光変調器1からの戻り光は、全て偏光ビームスプリッタ面51aで反射されて、偏光ビームスプリッタ51より出射される。図13において、オンの画素11a₁を通過する光（符号ONで表す。）の経路を符号A～Dで示す。また、オフの画素11a₀を通過する光（符号OFFで表す。）の経路を符号A'～D'で示す。

図13に示した例では、空間光変調器1からの戻り光は、全てS偏光であるが、オンの画素11a₁を通過した光とオフの画素11a₀を通過した光とでは、位相が180°異なっている。従って、この例における空間光変調器1は、光の位相を空間的に変調する位相空間光変調器となる。

以上説明したように、本実施の形態に係る空間光変調器1では、画素11aの

機能を増強する複数の誘電体層を備えているので、磁性層 11 を薄くしながら、入射光に対して磁化の方向に応じた偏光方向の回転を与えるという画素 11 a の機能を増強することができる。従って、本発明の空間光変調器 1 によれば、磁気光学的な性能を向上させることができると共に、動作速度を大きくでき、且つ消費電力を小さくすることができる。

また、本実施の形態では、下部導体層 12 および上部導体層 13 は磁性層 11 を挟むように配置されている。従って、本実施の形態によれば、磁性層 11 に大きな磁界を印加することが可能になる。

また、本実施の形態では、下部導体層 12 および上部導体層 13 は、それぞれ他の部分よりも幅の小さい狭部分 12 f, 13 f を有し、この狭部分 12 f, 13 f は互いに重なるように配置されている。従って、本実施の形態によれば、狭部分 12 f, 13 f が重なる位置の近傍において大きな磁界を発生させることが可能になる。

また、本実施の形態では、狭部分 12 f, 13 f は、それぞれ、画素 11 a 中の特定の領域 C の回りに湾曲した電流路 12 g, 13 g を形成する。従って、本実施の形態によれば、画素 11 a 中の特定の領域 C に、大きな磁界を印加することが可能になる。

また、本実施の形態では、狭部分 12 f, 13 f は、画素 11 a の周縁の近傍で、互いに重なるように配置されている。従って、本実施の形態によれば、下部導体層 12 および上部導体層 13 の形状が、空間光変調器 1 によって変調される光に与える影響を低減することができる。

また、本実施の形態に係る空間光変調器 1 は、機械的な駆動部分のない簡単な構造であると共に、液晶のような流動体を含まない所以、信頼性が高い。また、本実施の形態に係る空間光変調器 1 は、構造が簡単で、半導体製造プロセスを用いて量産が可能であるので、製造コストを低減することができる。

また、本実施の形態に係る空間光変調器 1 では、磁性層 11 の各画素 11 a に、磁化を反転させるための磁界を印加しなければ、各画素 11 a における磁化の状態は保持されるので、空間光変調器 1 によって変調情報を保持することができる。

また、本実施の形態に係る空間光変調器 1 の構成要素は、紫外線や宇宙線に対して耐性が大きいので、空間光変調器 1 は、宇宙空間での利用等、広範囲の分野での利用が可能になる。

[第 2 の実施の形態]

次に、本発明の第 2 の実施の形態に係る空間光変調器について説明する。図 1 4 は本実施の形態に係る空間光変調器の概略の構成を示す説明図である。図 1 4 に示したように、本実施の形態に係る空間光変調器 6 1 は、第 1 の実施の形態に係る空間光変調器 1 の構成要素に加え、上部誘電体層部 2 2 の上面に隣接するように設けられた旋光層 6 3 を備えている。旋光層 6 3 は光磁気材料によって形成された層を含んでいる。旋光層 6 3 は、1 次元磁性フォトニック結晶によって構成されていてもよい。

旋光層 6 3 における磁化は、全て同じ方向、例えば図 1 4 における上向きに設定されている。そして、旋光層 6 3 は、磁気光学効果（ファラデー効果）により、通過する光の偏光方向を予め決められた角度だけ回転するようになっている。

本実施の形態に係る空間光変調器 6 1 におけるその他の構成は、第 1 の実施の形態に係る空間光変調器 1 と同様である。

次に、図 1 5 を参照して、本実施の形態に係る空間光変調器 6 1 の使用方法と作用の一例について説明する。この例では、空間光変調器 6 1 に入射し、オンの画素 1 1 a₁ を通過して、空間光変調器 1 から出射された光の偏光方向の回転角度 + 2 θ_F を 45° としている。また、この例では、空間光変調器 1 に入射し、オフの画素 1 1 a₀ を通過して、空間光変調器 1 から出射された光の偏光方向の回転角度 - 2 θ_F を - 45° としている。また、この例では、旋光層 6 3 は、通過する光の偏光方向を、1 回の通過当たり 22.5° 回転し、往復の通過で 45° 回転するものとしている。

図 1 5 に示した例では、空間光変調器 6 1 における光の入射側に、偏光ビームスプリッタ 5 1 を配置している。この偏光ビームスプリッタ 5 1 は、空間光変調器 6 1 の入出射面に対して 45° をなす偏光ビームスプリッタ面 5 1 a を有している。この偏光ビームスプリッタ面 5 1 a は、P 偏光の光を通過させ、S 偏光の光を反射する。

図15に示した例では、偏光ビームスプリッタ51に対して、空間光変調器61の入出射面に対して垂直な方向よりP偏光の光を入射させる。この光は、偏光ビームスプリッタ面51aを通過して、空間光変調器61に入射し、旋光層63および磁性層11を順に通過し、反射層16で反射され、再度、磁性層11および旋光層63を通過して、偏光ビームスプリッタ51に戻ってくる。

この例では、オンの画素11a₁を通過する光は、旋光層63を往復で2回通過することで偏光方向が45°回転され、磁性層11を往復で2回通過することで偏光方向が45°回転され、合計で偏光方向が90°回転されてS偏光の光となる。従って、オンの画素11a₁を通過した光は、偏光ビームスプリッタ面51aで反射されて、偏光ビームスプリッタ51より出射される。

一方、オフの画素11a₀を通過する光は、旋光層63を往復で2回通過することで偏光方向が45°回転され、磁性層11を往復で2回通過することで偏光方向が-45°回転され、その結果、P偏光の光に戻る。従って、オフの画素11a₀を通過した光は、偏光ビームスプリッタ面51aを通過して、偏光ビームスプリッタ51より出射される。

図15において、オンの画素11a₁を通過する光（符号ONで表す。）の経路を符号A～Fで示す。また、オフの画素11a₀を通過する光（符号OFFで表す。）の経路を符号A'～F'で示す。

図15に示した例では、空間光変調器61からの戻り光は、偏光ビームスプリッタ51によって、オンの画素11a₁を通過した光とオフの画素11a₀を通過した光とに分離される。偏光ビームスプリッタ51より分離されて出射される2つの光は、それぞれ光強度が空間的に変調された光となる。

本実施の形態に係る空間光変調器61では、通過する光の偏光方向を予め決められた角度だけ回転する旋光層63を備えたので、空間光変調器61の出射光の偏光方向を所望の方向に設定することが可能になる。これにより、図15に示した例のように、偏光方向の異なる2種類の光を、容易に且つ大きな消光比で分離することが可能になる。

また、本実施の形態に係る空間光変調器61では、旋光層63の厚みを調整することによって、旋光層63における偏光方向の回転角度を調整することができ

る。これにより、例えば、旋光層 6 3 を所定の厚みに形成しておき、旋光層 6 3 を研磨して旋光層 6 3 の所定の厚みを調整することによって、消光比が最大になるように調整することが可能になる。

ところで、本実施の形態において、旋光層 6 3 は、それぞれ磁性層 1 1 の各画素 1 1 a に対応すると共に偏光方向の回転角度が異なる複数種類の領域を有し、各種類の領域は予め決められたパターンに従って配置されている。

図 1 5 は、旋光層 6 3 が、偏光方向の回転角度が異なる複数種類の領域を有する場合の空間光変調器 6 1 の構成の一例を示したものである。この例では、旋光層 6 3 は、磁性層 1 1 の各画素 1 1 a に対応する複数の領域を有している。これらの領域には、磁化の方向が上向きの領域と、磁化の方向が下向きの領域の 2 種類の領域がある。磁化の方向が上向きの領域は、通過する光の偏光方向を、1 回の通過当たり 22.5° 回転し、往復の通過で 45° 回転する。一方、磁化の方向が下向きの領域は、通過する光の偏光方向を、1 回の通過当たり -22.5° 回転し、往復の通過で -45° 回転する。2 種類の領域は、モザイク状等の予め決められたパターンに従って配置されている。2 種類の領域の配置パターンの情報は、例えば図 1 1 における駆動部 3 1、3 2 または制御部 3 3 が記憶している。

また、図 1 6 に示した例では、磁性層 1 1 の各画素 1 1 a は、磁化の方向が上向きのときには、通過する光の偏光方向を、往復の通過で 45° 回転し、磁化の方向が下向きのときには、通過する光の偏光方向を、往復の通過で -45° 回転する。

ここで、図 1 5 に示した空間光変調器 6 1 に対して P 偏光の光が入射するものとして、この空間光変調器 6 1 の作用について説明する。図 1 6 に示した空間光変調器 6 1 において、旋光層 6 3 における磁化の方向が上向きの領域と磁性層 1 1 における磁化の方向が上向きの画素 1 1 a とを通過した光は、偏光方向が 90° 回転されて S 偏光の光となる。以下、この光を第 1 のオンの光 ON_1 と記す。また、図 1 6 に示した空間光変調器 6 1 において、旋光層 6 3 における磁化の方向が下向きの領域と磁性層 1 1 における磁化の方向が下向きの画素 1 1 a とを通過した光は、偏光方向が -90° 回転されて、やはり S 偏光の光となる。以下、

この光を第2のオンの光 ON_2 と記す。また、第1のオンの光 ON_1 と第2のオンの光 ON_2 を合わせてオンの光と言う。第1のオンの光 ON_1 と第2のオンの光 ON_2 は、共にS偏光ではあるが、位相が 180° 異なっている。また、図16に示した空間光変調器61において、旋光層63における磁化の方向が下向きの領域と磁性層11における磁化の方向が上向きの画素11aとを通過した光と、旋光層63における磁化の方向が上向きの領域と磁性層11における磁化の方向が下向きの画素11aとを通過した光は、共にP偏光の光となる。これらの光をオフの光OFFと記す。

従って、図16に示した空間光変調器61では、磁性層11のうち、旋光層63における磁化の方向が上向きの領域に対応する画素11aを通過する光を第1のオンの光 ON_1 とする場合には画素11aにおける磁化の方向を上向きにし、オフの光OFFとする場合には画素11aにおける磁化の方向を下向きにすればよい。また、磁性層11のうち、旋光層63における磁化の方向が下向きの領域に対応する画素11aを通過する光を第2のオンの光 ON_2 とする場合には画素11aにおける磁化の方向を下向きにし、オフの光OFFとする場合には画素11aにおける磁化の方向を上向きにすればよい。

旋光層63における2種類の領域の配置パターンは予め分かっているので、旋光層63における領域の種類に応じて、磁性層11の各画素11aにおける磁化の方向を設定することにより、空間光変調器61の出射光を、画素単位で、オンの光とオフの光とに切り替えることができる。

前述のように、第1のオンの光 ON_1 と第2のオンの光 ON_2 は、位相が 180° 異なっているため干渉しない。従って、図16に示した空間光変調器61によれば、オンの光において発生するスペックルノイズを低減することが可能になる。

本実施の形態におけるその他の作用および効果は、第1の実施の形態と同様である。

なお、本発明は、上記各実施の形態に限定されず、種々の変更が可能である。例えば、本発明の空間光変調器は、反射層16を有しない、透過型のものであってもよい。

以上説明したように、本発明の空間光変調器によれば、磁性層を薄くしながら、入射光に対して磁化の方向に応じた偏光方向の回転を与えるという画素の機能を増強することができる。従って、本発明の空間光変調器によれば、磁気光学的な性能を向上させることができると共に、動作速度を大きくでき、且つ消費電力を小さくすることができる。

また、本発明の空間光変調器において、第 1 の導体層および第 2 の導体層は磁性層を挟むように配置されていてもよい。この場合には、磁性層に大きな磁界を印加することが可能になる。

また、本発明の空間光変調器において、第１の導体層および第２の導体層はそれぞれ他の部分よりも幅の小さい狭部分を有し、第１の導体層の狭部分と第２の導体層の狭部分は互いに重なるように配置されていてもよい。この場合には、第１の導体層の狭部分と第２の導体層の狭部分とが重なる位置の近傍において大きな磁界を発生させることが可能になる。

また、本発明の空間光変調器において、第１の導体層の狭部分および第２の導体層の狭部分は、それぞれ、画素中の特定の領域の回りに湾曲した電流路を形成してもよい。この場合には、画素中の特定の領域に、大きな磁界を印加することが可能になる。

また、本発明の空間光変調器において、第１の導体層の狭部分と第２の導体層の狭部分は、画素の周縁の近傍で、互いに重なるように配置されていてもよい。この場合には、第１の導体層および第２の導体層の形状が、空間光変調器によって変調される光に与える影響を低減することができる。

また、本発明の空間光変調器は、更に、入出射面に隣接するように設けられ、磁気光学効果により、通過する光の偏光方向を予め決められた角度だけ回転する旋光層を備えていてもよい。この場合には、空間光変調器の出射光の偏光方向を所望の方向に設定することが可能になり、これにより、偏光方向の異なる２種類の光を、容易に且つ大きな消光比で分離することが可能になる。

以上の説明に基づき、本発明の種々の態様や変形例を実施可能であることは明らかである。従って、以下の請求の範囲の均等の範囲において、上記の最良の形態以外の形態でも本発明を実施することが可能である。

クレーム

1. 光磁気材料よりなり、それぞれ独立に磁化の方向が設定され、磁気光学効果により、入射光に対して磁化の方向に応じた偏光方向の回転を与える機能を有する複数の画素を含む磁性層と、

前記各画素に対応した位置で交差するように配置され、各画素における磁化の方向を設定するための磁界を発生させるための電流が流される複数の第1の導体層および複数の第2の導体層と、

前記画素の機能を増強する複数の誘電体層と
を備えたことを特徴とする空間光変調器。

2. 前記磁性層、第1の導体層、第2の導体層および誘電体層は1次元磁性フォトニック結晶を構成することを特徴とする請求項1記載の空間光変調器。

3. 前記第1の導体層および第2の導体層は、前記磁性層を挟むように配置されていることを特徴とする請求項1記載の空間光変調器。

4. 前記第1の導体層および第2の導体層はそれぞれ他の部分よりも幅の小さい狭部分を有し、前記第1の導体層の狭部分と前記第2の導体層の狭部分は互いに重なるように配置されていることを特徴とする請求項1記載の空間光変調器。

5. 前記第1の導体層の狭部分および前記第2の導体層の狭部分は、それぞれ、前記画素中の特定の領域の回りに湾曲した電流路を形成することを特徴とする請求項4記載の空間光変調器。

6. 前記第1の導体層の狭部分と前記第2の導体層の狭部分は、前記画素の周縁の近傍で、互いに重なるように配置されていることを特徴とする請求項4記載の空間光変調器。

7. 前記第1の導体層および第2の導体層は、前記入射光を透過させることを

特徴とする請求項 1 記載の空間光変調器。

8. 空間光変調器は、更に、光が入射および出射する入出射面と、前記磁性層を挟んで前記入出射面の反対側に配置され、光を反射する反射層とを備えたことを特徴とする請求項 1 記載の空間光変調器。

9. 更に、前記入出射面に隣接するように設けられ、磁気光学効果により、通過する光の偏光方向を予め決められた角度だけ回転する旋光層を備えたことを特徴とする請求項 8 記載の空間光変調器。

10. 更に、隣接する画素の境界位置に設けられ、前記境界位置を越える磁壁の移動を抑止する磁壁移動抑止部を備えたことを特徴とする請求項 1 記載の空間光変調器。

11. 前記磁性層は磁性ガーネット薄膜によって形成されていることを特徴とする請求項 1 記載の空間光変調器。

要約

空間光変調器は、光磁気材料よりなり、それぞれ独立に磁化の方向が設定され、磁気光学効果により、入射光に対して磁化の方向に応じた偏光方向の回転を与える機能を有する複数の画素を含む磁性層と、各画素に対応した位置で交差するように配置され、各画素における磁化の方向を設定するための磁界を発生させるための電流が流される複数の第1の導体層および複数の第2の導体層と、画素の機能を増強する複数の誘電体層とを備えている。空間光変調器に入射した光には、磁性層の各画素における磁化の方向に応じた偏光方向の回転が与えられる。